



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ **Patentschrift**  
⑯ **DE 43 36 891 C 2**

⑯ Int. Cl. 6:  
**H 01 L 33/00**

**DE 43 36 891 C 2**

⑯ Aktenzeichen: P 43 36 891.3-33  
⑯ Anmeldetag: 28. 10. 93  
⑯ Offenlegungstag: 11. 5. 94  
⑯ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 14. 11. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

29.10.92 JP P 316598/92

⑯ Patentinhaber:

Toyoda Gosei Co., Ltd., Aichi, JP; Akasaki, Isamu, Nagoya, Aichi, JP; Amano, Hiroshi, Nagoya, Aichi, JP

⑯ Vertreter:

Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner, 80336 München

⑯ Erfinder:

Manabe, Katsuhide, Aichi, JP; Kotaki, Masahiro, Aichi, JP; Keto, Hisaki, Aichi, JP; Sassa, Michinari, Aichi, JP; Akasaki, Isamu, Nagoya, Aichi, JP; Amano, Hiroshi, Nagoya, Aichi, JP

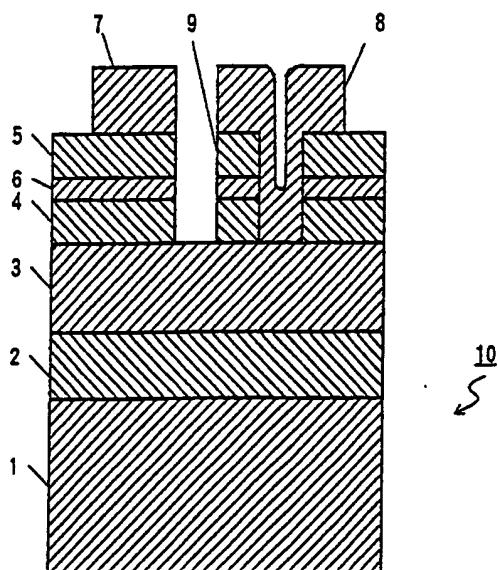
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

EP 0 48 688 A2

»Jap. J. of Appl. Physics« 30 (1991), S. L1998-L2001;  
»Appl. Physics Letters« 30 (1977), S. 412-414;  
»J. of Appl. Phys.« 47 (1976), S. 5387-5390;

⑯ Lichtemittierende Halbleitervorrichtung mit einer Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>1-x-y</sub>N-Verbindung und Verfahren zu dessen Herstellung

⑯ Lichtemittierende Halbleitervorrichtung enthaltend:  
eine N-leitende Halbleiterschicht mit der Formel Al<sub>x</sub>Ge<sub>y</sub>In<sub>1-x-y</sub>N einschließlich x=0, y=0 und x=y=0, sowie ein P-leitende, mit Magnesium dotierte Halbleiterschicht mit der Formel Al<sub>x</sub>Ge<sub>y</sub>In<sub>1-x-y</sub>N einschließlich x=0, y=0 und x=y=0, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine mit Zn dotierte semisolierende Halbleiterschicht mit der Formel Al<sub>x</sub>Ge<sub>y</sub>In<sub>1-x-y</sub>N einschließlich x=0, y=0 und x=y=0 zwischen der N-Schicht und der P-Schicht enthält.



**DE 43 36 891 C 2**

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung, die blaues Licht emittiert, sowie ein Verfahren zu deren Herstellung.

Es ist seit langem bekannt, daß ein Halbleiter einer GaN-Verbindung verwendet werden kann, um eine lichtemittierende Diode (LED) zu erhalten, die blaues Licht emittiert. Diese Halbleitervorrichtung ist aufgrund ihrer hohen Lichtausbeute, die aus direkten Elektronenübergang resultiert, und ihrer Fähigkeit, blaues Licht zu emittieren, das eine der drei Primärfarben ist, nützlich.

Vor kurzem wurde gefunden, daß eine GaN-Schicht in eine GaN-Schicht vom P-Typ übergeführt werden kann, indem Mg als Verunreinigung dotiert wird und Elektronen in die GaN-Schicht eingestrahlt werden. Damit kann eine GaN-Diode mit einem PN-Übergang anstelle eines Übergangs zwischen einer N-Schicht und einer semiisolierenden I-Schicht hergestellt werden.

In der EP-A 0 483 688 ist eine lichtemittierende Halbleitervorrichtung mit den Merkmalen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschrieben, die aus Schichten der Zusammensetzung  $Al_xGa_{1-x}N$  mit  $0 < x < 1$  besteht.

Ebenso ist in "Jap. J. of Appl. Physics" 30 (1991), Seite L1998–L2001, eine derartige, aus GaN bestehende Halbleitervorrichtung beschrieben.

Aus "Appl. Physics Letters" 30 (1977), Seite 412–418 sowie "J. of Appl. Phys." 47 (1976), Seiten 5387–5390 ist bekannt, GaN-Schichten für Halbleitervorrichtungen mit Zn zu dotieren.

Jedoch gibt es bei den bekannten Vorrichtungen ein Wellenlängenproblem. Die Wellenlänge des Lichts einer solchen LED mit einem PN-Übergang beträgt etwa 430 nm oder ist damit kürzer als die des blauen Lichts.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Lichtspektrum zu erzeugen, das dichter an dem vom blauen Licht liegt.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die eine N-leitende Halbleiterschicht mit der Formel  $Al_xGay_{1-x-y}N$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ , sowie eine P-leitende, mit Magnesium dotierte Halbleiterschicht mit der Formel  $Al_xGay_{1-x-y}N$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ , und weiterhin eine mit Zn dotierte semiisolierende Halbleiterschicht mit der Formel  $Al_xGay_{1-x-y}N$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$  zwischen der N-Schicht und der P-Schicht enthält.

Die semiisolierende I-Halbleiterschicht (I-Schicht) hat vorzugsweise eine Dicke von 20 bis 3000  $10^{-10}$  m und enthält vorzugsweise Zn-Verunreinigungen in einer Konzentration von etwa  $1 \times 10^{19}/cm^3$  bis  $1 \times 10^{21}/cm^3$ .

Wenn an die Diode eine Spannung angelegt wird, so daß das Potential der P-Schicht gegenüber dem der N-Schicht positiv ist, wurde für den Übergang zwischen der N-Schicht und der I-Schicht und für die I-Schicht eine Emission mit einem Wellenlängenmaximum von 492 nm beobachtet, und für den Übergang zwischen der I-Schicht und der P-Schicht wurde eine Emission mit einem Wellenlängenmaximum von 430 nm beobachtet. Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung können für eine LED die langwelligen Anteile insgesamt erhöht und die Leuchtkraft des blauen Lichts erhöht werden.

Fig. 1 ist ein Diagramm, das die Struktur einer LED nach Beispiel 1 zeigt;

Fig. 2 bis 7 sind Schnittansichten, die die aufeinanderfolgenden Herstellungsstufen der LED nach Beispiel 1 zeigen;

Fig. 8 ist ein Diagramm, das die Struktur der LED nach Beispiel 2 zeigt;

Fig. 9 bis 15 sind Schnittansichten, die die aufeinanderfolgenden Herstellungsstufen der LED nach Beispiel 5 2 zeigen.

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die folgenden Beispiele veranschaulicht.

## Beispiel 1

Fig. 1 zeigt eine LED 10 mit einem Saphirsubstrat 1, die fünf Schichten hat, die aufeinanderfolgend darauf gebildet sind: eine 500 Å dicke AlN-Pufferschicht 2, eine 2,2 µm dicke GaN-N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit einer großen Ladungskonzentration (N-Typ), eine 1,5 µm dicke GaN-N-Schicht 4 mit einer geringen Ladungskonzentration (N-Typ), eine etwa 400 Å dicke GaN-I-Schicht 6, und eine 0,2 µm dicke P-Schicht 5. Aluminiumelektroden 7 und 8 sind mit der P-Schicht 5 bzw. der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration verbunden. Sie sind durch einen Einschnitt 9 elektrisch isoliert.

Die LED 10 wurde durch Gasphasenwachstum, der sogenannten metallorganischen Dampfphasenepitaxie, hergestellt. Dieses Verfahren wird im folgenden MOV-25 PE bezeichnet.

Die Gase die für dieses Verfahren verwendet wurden, waren NH<sub>3</sub>, ein Trägergas (H<sub>2</sub>), Trimethylgallium (Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (im folgenden TMG), Trimethylaluminium (Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (im folgenden TMA), Silan (SiH<sub>4</sub>), Dicyclopentadienylmagnesium (Mg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>) (im folgenden CP<sub>2</sub>Mg) und Diethylzink (im folgenden DEZ).

Das monokristalline Saphirsubstrat 1, dessen Oberfläche mit einem organischen Reinigungsmittel und Wärmebehandlung gereinigt worden war, wurde auf eine Halterung in einer Reaktionskammer für die MOVPE-Behandlung gegeben. Anschließend wurde das Saphirsubstrat 1 bei 1100°C mit H<sub>2</sub>-Dampf geätzt, der der Kammer mit einem Durchsatz von 2 l/min unter Normdruck zugeführt wurde.

Auf dem Saphirsubstrat 1 wurde die 500 Å dicke AlN-Pufferschicht 2 bei 400°C und Zufuhr von H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> und TMA mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min bzw.  $1,8 \times 10^{-5}$  mol/min gebildet. Auf der Pufferschicht 2 wurde eine etwa 2,2 µm dicke GaN-N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration mit einer Elektronenkonzentration von  $1,5 \times 10^{18}/cm^3$  bei einer Temperatur des Saphirsubstrats 1 von 1150°C und Zufuhr von H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TMG und Silan, das mit H<sub>2</sub> auf 0,86 ppm verdünnt worden war, für 30 Minuten mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min,  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min bzw. 200 ml/min gebildet.

Auf der N<sup>+</sup>-Schicht 3 wurde eine etwa 1,5 µm dicke GaN-N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration mit einer Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{15}/cm^3$  bei einer Temperatur des Saphirsubstrats 1 von 1150°C und Zufuhr von H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> und TMG für 20 Minuten mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min bzw.  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min ausgebildet.

Auf der N-Schicht 4 wurde eine 400 Å dicke GaN-I-Schicht 6 mit einer Zn-Konzentration von  $3 \times 10^{20}/cm^3$  bei einer Temperatur des Saphirsubstrats 1 von 900°C und Zufuhr von H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TMG und DEZ für 30 Sekunden mit einem Durchsatz von 20 l/min, 10 l/min,  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min bzw.  $1,5 \times 10^{-4}$  mol/min erzeugt.

Auf der I-Schicht 6, wurde eine 0,2 µm dicke GaN-I-Schicht bei einer Temperatur des Saphirsubstrats 1 von 900°C und Zufuhr von H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, TMG und CP<sub>2</sub>Mg für 3 Minuten mit einem Durchsatz von 20 l/min,

10 l/min,  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min bzw.  $2 \times 10^{-7}$  mol/min gebildet. Diese I-Schicht ist nicht leitend.

Anschließend wurde aus dieser I-Schicht eine P-Schicht 5 mit P-Typ-Leitung, wie nachstehend beschrieben, hergestellt. Elektronenstrahlen wurden einheitlich in die I-Schicht 5 eingestrahlt. Die Bestrahlungsbedingungen waren: Beschleunigungsspannung 10 kV, Probenstrom 1  $\mu$ A, Geschwindigkeit der Strahlablenkung 0,2 mm/sek, Strahlöffnung 60  $\mu$ m $\Phi$  und Vakuum  $2,8 \times 10^{-5}$  mbar. Diese Bestrahlung führte die nicht leitende I-Schicht mit einem Widerstand von  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  oder mehr in einen leitenden Halbleiter vom P-Typ mit einem Widerstand von  $40 \Omega \cdot \text{cm}$  über.

Auf diese Weise wurde ein Wafer mit Multistrukturschichten, wie in Fig. 2 gezeigt, erhalten.

Die folgenden Fig. 3 bis 7 zeigen Schnittansichten nach weiteren Bearbeitungsschritten.

Eine  $2000 \times 10^{-10}$  m dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 wurde auf der P-Schicht 5 durch Zerstäuben wie in Fig. 3 gezeigt gebildet. Die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 wurde mit einer Fotoresistschicht 12 beschichtet. Zwei ausgewählte Bereiche des Fotoresists, A und B bezeichnet, wurden von der P-Schicht 5 mittels Fotolithographie entfernt. Der Elektroden bildende Bereich A entspricht einer Stelle, an der ein Loch 15 (in Fig. 5 und 6 gezeigt) gebildet ist, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht. Der Bereich B entspricht einer Stelle, an der ein Einschnitt 9, (ebenfalls in Fig. 5 und 6 gezeigt) gebildet ist, um den Bereich A von einer Elektrode der P-Schicht 5 zu isolieren.

Die Bereiche der SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, die nicht von dem Fotoresist 12 bedeckt sind, wurden mit einer Ätzflüssigkeit wie Fluorwasserstoffsäure, wie in Fig. 4 gezeigt, weggeätzt. Die ungeschützten Bereiche der folgenden, von der Oberfläche der Vorrichtung her aufeinanderfolgenden, 4 Schichten, nämlich der P-Schicht 5, der I-Schicht 6, der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration und der obere Bereich der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration wurden mittels Trockenätzung oder unter Anwendung einer hochfrequenten Leistungsdichte von 0,44 W/cm<sup>2</sup> und BC<sub>3</sub>-Gas mit 10 ml/min bei einem Vakuum von 0,059 mbar wie in Fig. 5 gezeigt entfernt. Danach wurde Trockenätzten mit Ar an der Vorrichtung durchgeführt. So wurden sowohl das Loch 15 für eine Elektrode, die bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht, als auch der Einschnitt 9 zur Isolierung des Bereichs A von einer Elektrode der P-Schicht 5 gebildet.

Die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, die auf der P-Schicht 5 verblieb, wurde mit Fluorwasserstoffsäure wie in Fig. 6 gezeigt entfernt. Eine Al-Schicht 13 wurde auf die gesamte Oberfläche der Vorrichtung mittels Dampfablagerung wie in Fig. 7 gezeigt laminiert. So wurde die Al-Schicht 13 gebildet, die mit der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration über das Loch 15 in elektrischem Kontakt steht. Anschließend wurde ein Fotoresist 14 auf die Al-Schicht 13 laminiert. Dies wurde mittels Fotolithographie weggeätzt, wobei Konfigurationsmuster für die zwei Elektroden, die mit der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration bzw. der P-Schicht 5 verbunden sind, verblieben.

Der ungeschützte Bereich der Al-Schicht 13, der nicht von dem Fotoresist 14 als Maske bedeckt war, wurde mit einer Ätzflüssigkeit wie Salpetersäure weggeätzt. Jetzt wurde die Al-Schicht 13, die in dem Einschnitt 9 eingelagert war, vollständig zur Isolierung entfernt. Nachdem das Fotoresist 14 mittels einer Fotoresistentfernungslösung vollständig entfernt worden war,

wurden zwei Elektroden, die Elektrode 8 für die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und die Elektrode 7 für die P-Schicht 5 gebildet. Ein Wafer, der nach dem vorstehenden Verfahren behandelt worden war, wurde in einzelne Elemente aufgeteilt, die eine lichtemittierende Galliumnitrid-Diode mit PN-Struktur wie in Fig. 1 gezeigt aufwies.

Es wurde festgestellt, daß die erhaltene LED 10 eine Leuchtkraft von 10 mcd und eine Wellenlänge von 460 bis 470 nm aufwies. Im Gegensatz zu herkömmlichen LED's hat die erfundungsgemäße ein Emissionspektrum, das um 20 bis 50 nm in Richtung des langwelligeren Endes verschoben ist.

Alternativ zu CP<sub>2</sub>Mg kann Methylidicyclopentadienylmagnesium (Mg(C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>)<sub>2</sub>) verwendet werden, um Mg zuzuführen.

Obwohl in Fig. 1 eine N-Schicht mit Doppelstruktur verwendet wird, die eine N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und eine N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration enthält, kann alternativ eine N-Schicht mit Einfachstruktur verwendet werden.

Eine LED mit einer N-Schicht mit Doppelstruktur ist heller als eine vergleichbare LED mit einer N-Schicht mit Einfachstruktur. Die wünschenswerte Elektronenkonzentration und Dicke der zwei Schichten der Doppelstruktur werden in den nächsten zwei Absätzen beschrieben.

Die N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration enthält vorzugsweise eine Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  und hat eine Dicke von 0,5 bis 2  $\mu\text{m}$ . Die Elektronenkonzentration der N-Schicht 4 soll nicht höher als  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  sein, da sonst die Leuchtkraft der LED verringert wird. Die Elektronenkonzentration der N-Schicht soll nicht geringer als  $1 \times 10^{14}/\text{cm}^3$  sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird. Die N-Schichtdicke soll nicht größer als 2  $\mu\text{m}$  sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird. Die N-Schichtdicke soll nicht kleiner als 0,5  $\mu\text{m}$  sein, da sonst die Leuchtkraft der LED verringert wird.

Die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration enthält vorzugsweise eine Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  bis  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  und hat eine Dicke von 2 bis 10  $\mu\text{m}$ . Die Elektronenkonzentration der N<sup>+</sup>-Schicht 3 soll nicht höher als  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  sein, da sonst die resultierende LED eine schlechte kristalline Qualität hat. Die Elektronenkonzentration der N<sup>+</sup>-Schicht soll nicht geringer als  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird. Die N-Schichtdicke soll nicht größer als 10  $\mu\text{m}$  sein, da sonst das Saphirsubstrat der LED gebogen wird. Die N-Schichtdicke soll nicht geringer als 2  $\mu\text{m}$  sein, da sonst der serielle Widerstand der LED erhöht wird und folglich Wärme abgestrahlt wird.

#### Beispiel 2

Fig. 8 zeigt eine LED mit einem Saphirsubstrat 1, worauf aufeinanderfolgend 5 Schichten gebildet sind: eine 500 Å dicke AlN-Pufferschicht 2, eine 2,2  $\mu\text{m}$  dicke GaN-N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration, eine 1,5  $\mu\text{m}$  dicke GaN-N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration, eine etwa 400 Å dicke GaN-I-Schicht 6 und eine 0,2  $\mu\text{m}$  dicke GaN-I-Schicht 50. Die I-Schicht 50 beinhaltet in einer bestimmten Position einen P-Bereich 5 vom P-Typ.

Ein Loch 15, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht, ist von der Oberfläche der I-Schicht 50 aus durch 3 Schichten hindurch, der I-Schicht 50, der I-Schicht 6 und der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration gebildet. Eine Aluminiumelektrode 52, die bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht, ist auf der I-Schicht 50 durch das Loch 15 gebildet. Eine andere Aluminiumelektrode 51 ist auf der P-Schicht 5 gebildet und steht mit ihr in Kontakt. Die Elektrode 52 für die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration ist von der P-Schicht 5 durch die I-Schicht 50 elektrisch isoliert.

Fig. 9 bis 15 zeigen Schnittansichten verschiedener Herstellungsstufen. In der Praxis werden Elemente, die so in Folge gebildet werden, in einzelne Elemente aufgeteilt, nachdem die folgenden Verfahren durchgeführt worden sind, um die in Fig. 8 gezeigte Struktur auszubilden. Ein Wafer, der in Fig. 9 gezeigt ist, wird auf dieselbe Weise wie der Wafer nach Beispiel 1 hergestellt. Auf der GaN-I-Schicht 50 wurde eine  $2000 \cdot 10^{-10}$  m dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 durch Zerstäuben gebildet, wie in Fig. 10 gezeigt. Eine Fotoresistschicht 12 wurde auf die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11 laminiert. Ein ausgewählter Bereich des Fotoresists, mit A bezeichnet, wurde mittels Fotolithographie entfernt. Aus dem Bereich A wird ein Loch 15 auf der I-Schicht 50 gebildet, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 reicht.

Die SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, die nicht mit der Fotoresistschicht 12 bedeckt ist, wurde mit einer Ätzflüssigkeit wie Fluorwasserstoffsäure weggeätzt, wie in Fig. 11 gezeigt. Anschließend wurden die ungeschützten Bereiche der folgenden, von der Oberfläche der Vorrichtung her aufeinanderfolgend vier Schichten, nämlich der I-Schicht 50, der I-Schicht 6, der N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration und der obere Bereich der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mittels Trockenätzung entfernt, indem eine hochfrequente Leistungsdichte von 0,44 W/cm<sup>2</sup> und BCl<sub>3</sub> Gas mit 10 ml/min bei einem Vakuum von 0,059 mbar zugeführt wurden, wie in Fig. 12 gezeigt. Danach wurde Trockenätzung mit Ar an der Vorrichtung durchgeführt. Dadurch wurde das Loch 15 für die Elektrode 52 gebildet, das bis zur N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration reicht. Anschließend wurde der Anteil SiO<sub>2</sub>-Schicht 11, der auf der I-Schicht 50 verblieben war, mittels Fluorwasserstoffsäure entfernt, wie in Fig. 13 gezeigt.

Der P-Typbereich 5 wurde hergestellt, indem gleichförmig Elektronen in den ausgewählten Bereich der I-Schicht 50 eingestrahlt wurde. Die Bedingungen der Bestrahlung waren: Beschleunigungsspannung 10 kV, Probenstrom 1 μA, Geschwindigkeit der Strahlablenkung 0,2 mm/sec, Strahlöffnung 60 μmΦ und Vakuum  $2,8 \times 10^{-5}$  mbar. Diese Bestrahlung führte den bestrahlten Bereich der nicht leitenden I-Schicht 50 mit einem Widerstand von  $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  oder mehr in einen P-Typ Halbleiter mit einem Widerstand von  $35 \Omega \cdot \text{cm}$  über. Dabei blieben die Bereiche der I-Schicht 50, die nicht mit Elektronenstrahlen bestrahlt worden waren, nicht leitend.

Horizontal war der P-Typ Bereich 5 von seiner Umgebung durch die I-Schicht 50 elektrisch isoliert.

Eine Al-Schicht 20 wurde auf die Oberfläche des P-Typ Bereichs 5, der I-Schicht 50 und durch das Loch 15 auf der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration mittels Dampfablagerung laminiert, wie in Fig. 15 gezeigt.

Eine Fotoresistschicht 21 wurde auf die Al-Schicht 20 laminiert. Diese wurde mittels Fotolithographie wegge-

äztzt, wobei Muster für zwei Elektroden verblieben, die mit der N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration beziehungsweise mit dem P-Typ Bereich 5 verbunden sind. Der ungeschützte Bereich der Al-Schicht 20, der nicht von dem Fotoresist 21 als Maske bedeckt war, wurde mit einem Ätzmittel wie Salpetersäure weggeätzt. Nachdem das Fotoresist 21 mit Aceton vollständig entfernt worden war, wurden zwei Elektroden, die Elektrode 52 für die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und die Elektrode 51 für die P-Schicht 5 gebildet, wie in Fig. 8 gezeigt. Der Wafer, der nach dem zuvor erwähnten Verfahren behandelt worden war, wurde anschließend in einzelne Elemente aufgeteilt.

Es wurde festgestellt, daß die so erhaltene LED 10 eine Leuchtkraft von 10 mcd und Wellenlänge von 460 bis 470 nm hat. Diese Ergebnisse waren dieselben wie die in Beispiel 1. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen LED zeigt die erfindungsgemäße ein Spektrum, das um 20 bis 50 nm zum langwelligen Ende hin verschoben ist.

### Beispiel 3

Für die LED 10 im Beispiel 3 wurde die Formel für die jeweiligen vier Schichten, einer N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration und N-Schicht 4 mit geringer Ladungskonzentration, einer I-Schicht 6 und einer P-Schicht 5 in  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,5}\text{In}_{0,3}\text{N}$  geändert. Die N<sup>+</sup>-Schicht 3 mit hoher Ladungskonzentration wurde so gebildet, daß sie eine Elektronenkonzentration von  $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  hatte. Die N-Schicht 4 mit geringer Elektronenkonzentration wurde so gebildet, daß sie eine Elektronenkonzentration von  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  ohne Verunreinigungen hatte. Die I-Schicht wurde so gebildet, daß sie eine Zn-Konzentration von  $3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$  und eine Dicke von 400 Å hatte. Die P-Schicht 5 wurde so gebildet, daß sie eine Lochkonzentration von  $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  dotiert mit Mg hatte und wurde mit Elektronenstrahlen bestrahlt. Zwei Aluminiumelektroden 7 und 8 wurden so gebildet, daß sie mit der P-Schicht 5 bzw. der N<sup>+</sup>-Schicht 3 Kontakt hatten.

Die LED 10 kann auf die gleiche Weise wie die in Beispiel 1 hergestellt werden. Trimethylindium (In(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) wurde als eines der Gase zusätzlich zu TMG, TMA, Silan und CP<sub>2</sub>Mg für das Verfahren verwendet. Die Wachstumstemperatur und der Durchsatz der Gase in dem Verfahren waren die gleichen wie im Beispiel 1. Trimethylindium wurde mit einem Durchsatz von  $1,7 \times 10^{-4}$  mol/min zugeführt.

Ein leitender Halbleiter vom P-Typ wurde wie in Beispiel 1 dadurch erhalten, daß Elektronen gleichförmig auf die P-Schicht aufgestrahlt wurden.

Es wurde gefunden, daß die dadurch erhaltene LED 10 eine Leuchtkraft von 10 mcd und Wellenlängen von 460 bis 480 nm hatte. Verglichen mit einer herkömmlichen LED hat die erfindungsgemäße ein Spektrum, das um 20 bis 60 nm in Richtung langwelliges Ende verschoben ist.

### Patentansprüche

1. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung enthaltend:  
eine N-leitende Halbleiterschicht mit der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ , sowie ein P-leitende, mit Magnesium dotierte Halbleiterschicht mit der Formel  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$ , dadurch gekennzeichnet, daß sie eine mit Zn do-

tierte semiisolierende Halbleiterschicht mit der Formel  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  einschließlich  $x=0$ ,  $y=0$  und  $x=y=0$  zwischen der N-Schicht und der P-Schicht enthält.

2. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die semiisolierende I-Schicht eine Dicke im Bereich von  $20$  bis  $3000 \times 10^{-10}$  m hat.

3. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die semiisolierende I-Schicht Zn-Verunreinigungen in einer Konzentration im Bereich von  $1 \times 10^{19}/cm^3$  bis  $1 \times 10^{21}/cm^3$  enthält.

4. Lichtemittierende Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die P-Halbleiterschicht lateral zumindest teilweise von einer semiisolierenden I-Halbleiterschicht gleicher Zusammensetzung begrenzt ist.

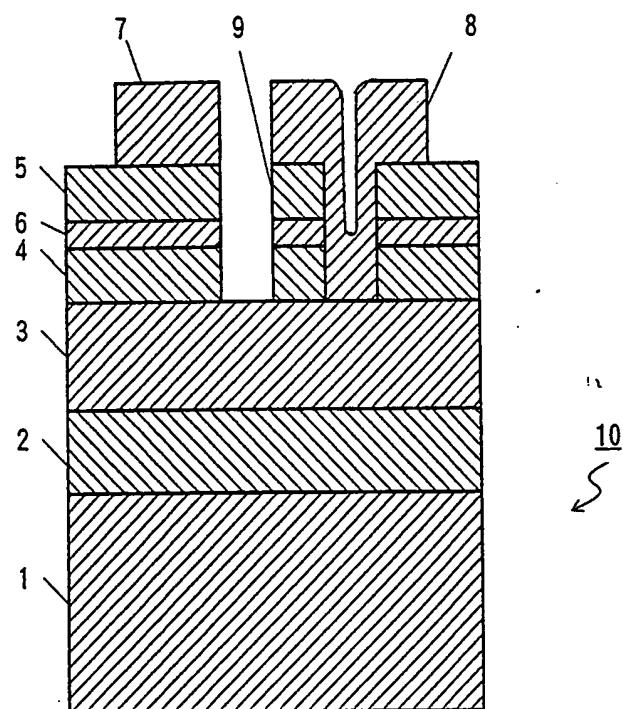
5. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,

daß zuerst die N-leitende Halbleiterschicht hergestellt und auf dieser die Zn-dotierte Halbleiterschicht ausgebildet wird, daß anschließend auf der Zn-dotierten Halbleiterschicht eine semiisolierende I-Schicht erzeugt wird und

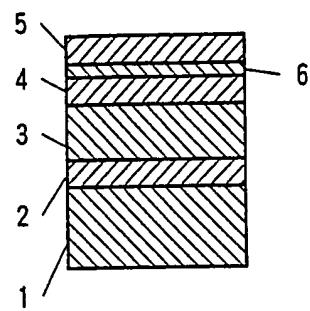
daß schließlich die semiisolierende I-Schicht durch Elektronenbeschuß in die P-Halbleiterschicht umgewandelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektronenbeschuß nur für einen Teil der semiisolierenden Schicht selektiv vorgenommen wird.

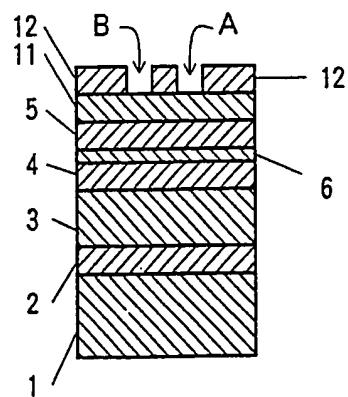
【FIG. 1】 \*



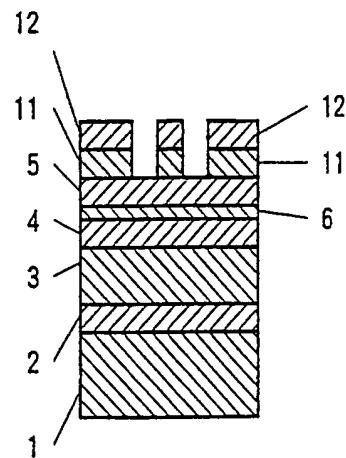
【F I G. 2】



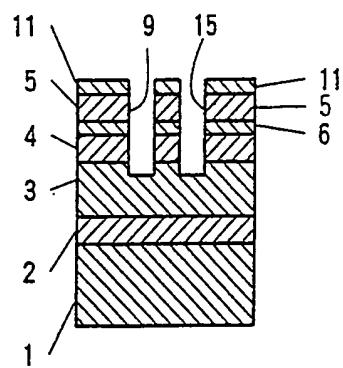
【F I G. 3】



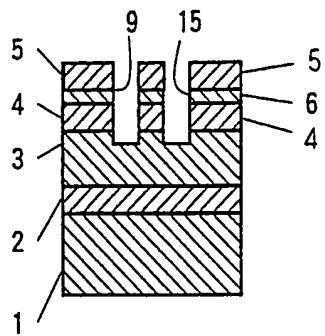
【F I G. 4】



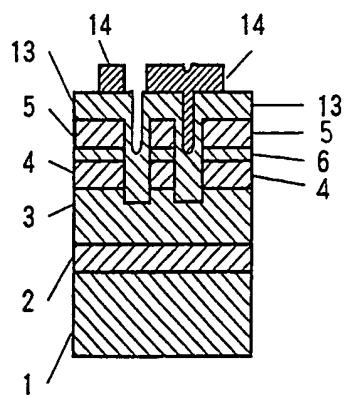
【F I G. 5】



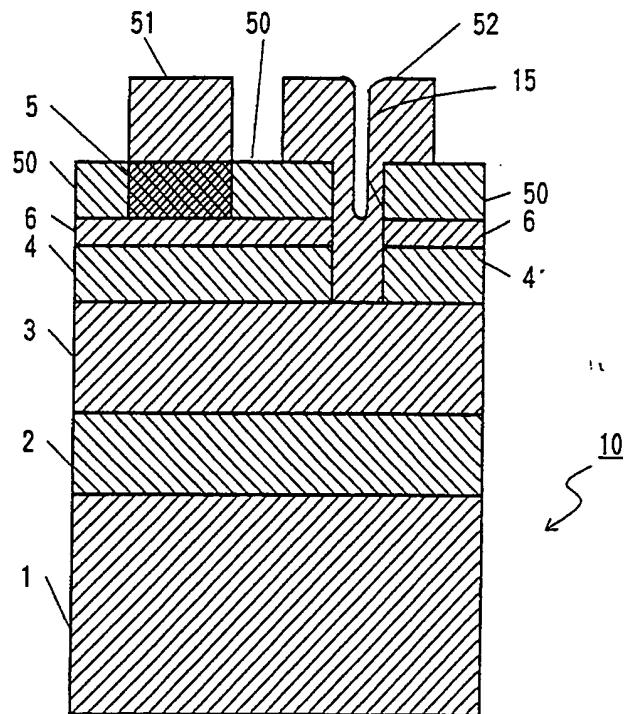
【F I G. 6】



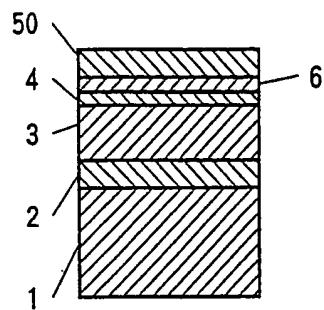
【F I G. 7】



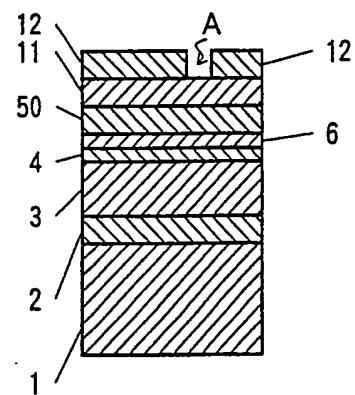
【FIG. 8】



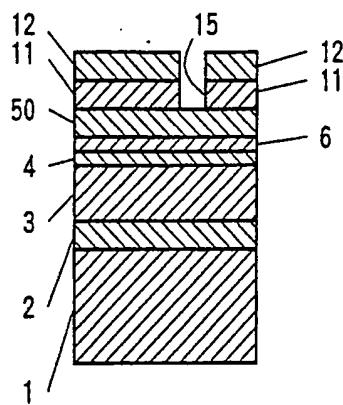
【F I G. 9】



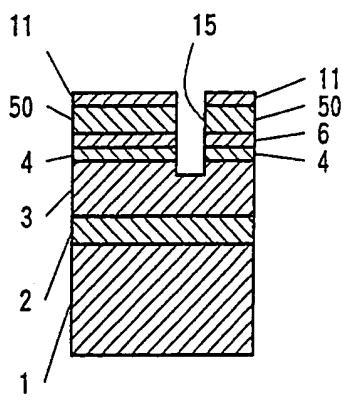
【F I G. 10】



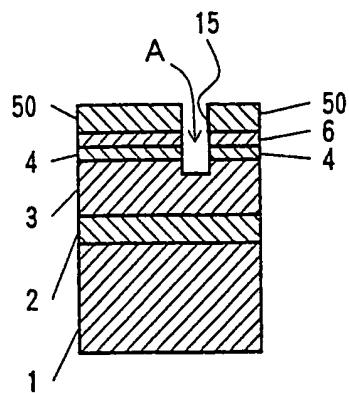
【F I G. 1 1】



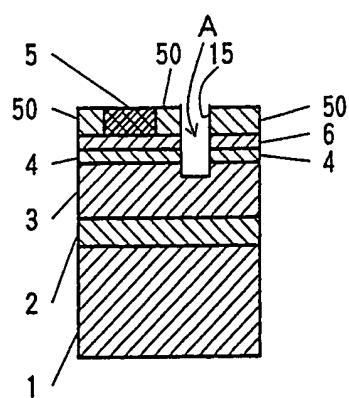
【F I G. 1 2】



【F I G. 1 3】



【F I G. 1 4】



【F I G. 15】

